

调查研究

聚碳酸酯食品容器卫生标准的探讨

陈蓉芳 顾振华

(上海市食品药品监督管理局,上海 200233)

摘要:目的 为修订聚碳酸酯食品容器卫生标准,设定检测项目及其迁移限量提供科学依据。方法 对聚碳酸酯食品容器的生产、食品接触情况进行现场调查,随机抽取 60 批次样品,检测蒸发残渣(水、4 %乙酸、20 %乙醇、正己烷)、高锰酸钾消耗量、游离酚和重金属,并同时检测双酚 A 特定迁移量。结果 检测结果显示,蒸发残渣、游离酚和重金属的合格率均为 100 %,高锰酸钾消耗量的合格率为 98.2 %,双酚 A 特定迁移量检出值范围为 0.5 ~ 3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,检出均值为 $0.9 \pm 0.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。结论 根据检测结果、风险评估资料,参考美国 FDA、日本、欧盟法规,提出了我国聚碳酸酯食品容器卫生标准的修订意见。

关键词:卫生标准;食品包装;聚碳酸酯;双酚 A;重金属

Investigation on the Health Standards of Polycarbonate Food Containers

CHEN Rong-fang, GU Zhen-hua

(Institute of Shanghai Food and Drug Supervision, Shanghai 200233, China)

Abstract: **Objective** To provide scientific basis for revising the health standard of polycarbonate food containers and to specify detection items and migration limits. **Methods** Investigating the production of polycarbonate food containers and the conditions for their contacting with foods. Samples from 60 batches were collected. The evaporated residues of 4 food simulants (water, 4 % acetate acid, 20 % ethanol and n-hexane), the consumption of potassium permanganate, free phenols and heavy metals were analyzed. The special migration of bisphenol A monomer was tested as well. **Results** The test results showed that the qualified rate of evaporation residues, free phenols and heavy metals were 100 %, while that of potassium permanganate consumption was 98.2 %. The special migration level of bisphenol A was in the range of 0.5-3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the mean value was $0.9 \pm 0.4 \mu\text{g}/\text{kg}$. **Conclusion** Based on the test results and risk assessment information, and the relevant regulations on amending health standards in United States, Japan and European Union, the revision suggestions for the health standard of polycarbonate container in China were proposed.

Key words: Health Standards; Food Packaging; Polycarbonate; Bisphenol A; Heavy Metals

聚碳酸酯(polycarbonate, PC)是一种综合性能优良的热塑性工程塑料,PC 树脂由双酚 A 与碳酰氯(俗称光气)或碳酸二苯酯以熔融法或缩聚法聚合而成,常用的 PC 食品容器包括饮用水桶、奶瓶、太空或运动壶/杯、高档微波炉用保鲜盒、餐具及食物贮存容器等。欧盟、美国、日本等发达国家或机构已对 PC 食品容器的安全性进行了充分的研究,并制定了卫生标准,我国也于 20 世纪 90 年代初期制定了 PC 树脂及其成型品的卫生标准。但近年来有部分研究资料对其安全性提出质疑,某些国家还对 PC 奶瓶发出禁令,使得该类产品的安全性再次受到公众的关注,加之原标准标龄太长,能否满足当前的健康保护需求不得而知。为此,受卫生部委托,对食品容

器、包装材料用聚碳酸酯树脂及成型品卫生标准进行了研究并提出修订意见。

1 材料与方法

1.1 现场调查

对上海市、浙江省、江苏省等国内 PC 食品容器生产企业进行调查,了解企业分布、原料来源、工艺流程、产品销售情况等。

1.2 样品采集

按企业的地域分布、容器类别、生产规模,随机抽取 5 个饮用水桶生产企业,每个企业抽取 3 ~ 4 批次的样品;6 个奶瓶加工企业,每个企业抽取 5 ~ 6 批次的样品;3 个饮水杯生产企业,每个企业抽取 2 ~ 3 批次样品。共抽取样品 60 批,根据浸泡方法每批抽样 3 ~ 10 个。

1.3 样品浸泡

根据国家标准 GB 5009.156—2003《食品用包装

基金项目:二〇〇六年国家标准制修订项目(20062687-Q-361)

作者简介:陈蓉芳 女 主管医师

通讯作者:顾振华 男 副主任医师

材料及其制品的浸泡试验方法通则》对样品进行清洗浸泡,采用水、4 %乙酸、20 %乙醇、正己烷 4 种浸泡液,分别模拟中性食品、酸性食品、含乙醇食品和油脂类食品,浸泡条件除正己烷采用室温泡 6 h 外,其余均为 95 ± 泡 6 h。

1.4 检测项目和方法

1.4.1 蒸发残渣、高锰酸钾消耗量和重金属 按照 GB 5009.60—2003《食品包装用聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯成型品卫生标准的分析方法》规定的方法进行测定。

1.4.2 游离酚 按照 GB/T 5009.69—2003《食品罐

头内壁环氧酚醛涂料卫生标准的分析方法》规定的方法进行测定。

1.4.3 双酚 A 特定迁移量的测定 采用改良(BS) DD CEN/TS 13130 - 13: 2005,和食品接触的材料和物品,受限制的塑料物质 - 第 13 部分:模拟物中 2,2- 二(3- 氨基 - 4- 羟基苯基)丙烷(双酚 A)特定迁移量的测定^[1]。

2 结果

2.1 蒸发残渣、高锰酸钾消耗量、重金属、脱色试验 60 件 PC 成型品试样的理化指标检测结果见表 1。

表 1 PC 食品容器成型品理化指标检测结果

项目	样品数	检出值范围 (mg/dm ²)	均数 ^a (mg/dm ²)	标准差	拟定限量值 (mg/dm ²)	合格数	合格率(%)
4 种溶剂下蒸发残渣							
水	59	0.02 ~ 3.4	0.7	0.8	6.0	59	100.0
4 %乙酸	57	0.04 ~ 4.4	0.8	0.3	6.0	57	100.0
20 %乙醇	57	0.02 ~ 3.0	0.7	0.8	6.0	57	100.0
正己烷	57	0.1 ~ 2.4	0.5	0.5	6.0	57	100.0
高锰酸钾消耗量	56	0.01 - 3.5	0.25	0.64	2.0	55	98.2
重金属(以 Pb 计)	57	< 0.2	< 0.2	—	0.2	57	100.0

注:a 为未检出样品,以检出限的 1/2 计。“—”所有样品均未检出,标准差无法计算。

2.2 游离酚及双酚 A(bisphenol A, BPA)

检测了 56 件 PC 样品的游离酚迁移量,结果全部检出,检出值范围为 0.000 02 ~ 0.008 mg/dm²,均值为 0.000 81 mg/dm²,拟定限量值为 0.01 mg/dm²,合格率为 100 %。检测了 49 件 PC 样品的双酚 A 特定迁移量,其中 34 件检出,15 件未检出(检出限为 0.5 μg/kg),检出值范围为 0.5 ~ 3.0 μg/kg,检出均值为 0.9 ± 0.4 μg/kg。

3 讨论

3.1 理化指标及限量值比较

食品容器、包装材料中的化学物(包括添加剂、原料单体、低聚物、分解产物等)可以从食品接触面迁移进入食品,对食品的品质产生影响并危害消费者健康,控制迁移量是确保包装食品质量安全的重要手段。欧美等大多数国家规定了食品容器、包装材料向食品中迁移的物质的总量,欧盟称之为总迁移量(overall migration limit, OML),中国、日本称之为蒸发残渣(evaporation residues),美国则称之为提取物(extractives)。总迁移量或蒸发残渣是指食品包装材料中可以迁移到接触食品中的化学物质的总量。除了蒸发残渣或总迁移量之外,中国、日本等还规定了高锰酸钾消耗量(可溶出并迁移到浸泡液中能被高锰酸钾氧化的小分子有机物质的总量)和重金属(以铅计)迁移限量。蒸发残渣、高锰酸钾消耗量、重金属 3 者均反映了包装材料中化学物迁移的状况,

是评判食品容器、包装材料的安全卫生状况的重要指标。

根据本研究结果,参照欧盟、日本、美国标准,提出中国 PC 成型品卫生标准 3 项指标的拟定限量值。本次检测样品中,蒸发残渣、重金属合格率均为 100.0 %,高锰酸钾消耗量的合格率为 98.2 %。为了客观反映真实接触条件下食品中的迁移量,并便于计算和比较,将各项迁移指标的计量单位由原来的 mg/L 修订为 mg/dm²,因 mg/L 为 1 cm² 表面积包装材料加入 2 ml 浸泡液,经折算后得到的量,对瓶盖、灌装浸泡的容器折算值与实际迁移到食品中的情况不符。我国卫生标准理化指标拟定限量值与其他国家的比较见表 2。

3.2 游离酚及双酚 A 的迁移

本次研究检测了游离酚总迁移量和双酚 A 特定迁移量,游离酚实际包括双酚 A、苯酚、对 - 叔丁基苯酚等酚类物质的总量,其中有些酚类对机体有危害,有些没有危害作用,因此游离酚的设定并非基于风险评估结果,但由于检测方法简单易行,成本较低,对控制相关产品的安全有不可替代的作用,因此,中国、日本等相关卫生标准一直沿用该项目,此次修订仍然保留。

双酚 A 是合成聚碳酸酯和罐头内壁环氧涂料的主要单体物质,目前已积累的大量双酚 A 特定迁移相关研究资料显示,在模拟真实使用温度和时间 的情况下,在所有可能接触的食品种类或模拟物中,

表 2 各国 PC 成型品标准项目及其限量值比较^[2]

项 目	国标(拟修订)	日本标准	欧盟标准 ^a
蒸发残渣			
水,95 ±5 ,6 h	6.0 mg/dm ²	30.0 μg/ml (6.0 mg/dm ²)	10.0 mg/dm ²
4 %乙酸,95 ±5 ,6 h	6.0 mg/dm ²	30.0 μg/ml (6.0 mg/dm ²)	10.0 mg/dm ²
20 %乙醇,95 ±5 ,6 h	6.0 mg/dm ²	30.0 μg/ml (6.0 mg/dm ²)	10.0 mg/dm ²
正己烷,室温,6 h	6.0 mg/dm ²	30.0 μg/ml (6.0 mg/dm ²)	10.0 mg/dm ²
高锰酸钾消耗量			
水,95 ±5 ,6 h	2.0 mg/dm ²	10.0 μg/ml (2.0 mg/dm ²)	NS
总 酚			
水,95 ±5 ,6 h	0.01 mg/dm ²	2.5 μg/ml (0.5 mg/dm ²)	NS
双酚 A 迁移量			
水,95 ±5 ,6 h	NS	NS	0.60 mg/kg
重金属(以铅计)			
4 %乙酸,95 ±5 ,6 h	0.2 mg/dm ²	NS	NS
脱色试验			
100 %乙醇	阴性	NS	NS
冷餐油或无色油脂	阴性	NS	NS
浸泡液	阴性	NS	NS

注:a 为蒸发残渣欧盟以总迁移量表示,模拟物分别为水、3 %乙酸、10 %乙醇(10 %以上以实际浓度)及橄榄油(或油性食品其他替代模拟物)。NS 未设定(no specified)。

表 3 PC 成型品中 BPA 迁移量相关文献报道

检测条件	BPA 浓度	来源
PC 瓶,25 ~ 80		
25 , 5 h	ND (< 2)	Hanai 1997 ^[2]
25 , 72 h	ND (< 5)	FDA 1996 ^[3]
40 ,24 h	ND (< 2 ~ 5)	FCPSA 2005 ^[4]
50 ,(水、乙酸、95 %乙醇)	ND (< 10)	Simuneau 2000 ^[5]
70 ,1 h, (水、乙酸)	ND (< 1) ~ 5.1	CSL 2004 ^[6]
80 ,30 s 或 2 min	1.1 ~ 2.5	D 'Antuono 2001 ^[7]
80 , 24 h	4 ~ 10, 均值 7	Environment California 2007 ^[8]
PC 瓶, > 94 ,水		
95 ,30 min	ND (< 0.5) ~ 0.75	Sun 2000 ^[9]
95 ,30 min	ND (< 0.05) ~ 3.9	Miyamoto 2006 ^[10]
100 ,30 min, 放置 72 h	ND (< 5)	FDA 1996 ^[3]
105 ,1 h	0.11 ~ 17, 均值 7(检测前刷洗 50 次)	Brede 2003 ^[11]

注:ND 为未检出;括弧内数值为检出限(detection limit)。

PC 成型品中双酚 A 的特定迁移量(specific migration limit,SML)非常低,一般小于 10 μg/kg(见表 3)。本研究 49 件样品的检出值范围为 ND ~ 3.0 μg/kg,与文献报道一致^[2-11]。

3.3 双酚 A 健康危害及风险评估进展

双酚 A 是一种作用非常弱的雌激素样环境内分泌干扰物,自从 2008 年 4 月加拿大宣布禁止含双酚 A 的聚碳酸酯奶瓶的生产销售以来,双酚 A 的安全性再次受到关注。双酚 A 的急性毒性很低,大鼠和小鼠经口、兔经皮的 LD₅₀ 均大于 2 000 mg/kg。双酚 A 对人没有明显诱变活性^[14]。目前对双酚 A 的争论焦点主要集中在其致癌性及生殖发育毒性,特别是其对前列腺、乳腺的致癌作用及其胚胎或婴幼

儿暴露产生的神经行为发育毒性。

美国国立毒理学项目组(NTP)和加拿大卫生部发布的评估报告^[12,13]。NTP 于 2008 年 8 月发布的评估报告认为双酚 A 可能会对胎儿、婴幼儿、儿童的神经行为产生一些影响,青春期早期暴露会导致前列腺、乳腺疾病。此外,孕妇暴露会导致胎儿或新生儿死亡、出生缺陷或出生体重降低,成人暴露也可引发一些不良效应。加拿大卫生部发布的风险评估报告草案建议将双酚 A(bisphenol A,BPA)划分到对人和环境有毒的化学物类别中,并同时宣布禁止 PC 奶瓶的生产、进口和销售。

而美国 FDA 2008 年 8 月 20 日发布的风险评估草案^[14,15],坚持认为在目前的暴露水平下 BPA 是安

全的。美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 科学委员会 BPA 分委会于 2008 年 10 月发布的同行评议报告认为, FDA 的风险评估草案对现有文献进行了充分调研和说明, 肯定了其评估结论。但建议在暴露评估资料中增加婴幼儿配方粉检测数据, 充分考虑样品之间的可变性, 明确未获得良好实验室规范 (good laboratory practice, GLP) 的实验室研究结果的剔除标准, 未观察到有害作用水平 (no-observed-adverse-effect level, NOAEL) 的计算不够保守, 因未充分考虑代谢功能尚不完善的婴幼儿以及其他途径接触双酚 A 的可能性。德国联邦风险评估研究所 2006 年的评估报告认为聚碳酸酯婴儿奶瓶是安全的。欧盟食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 同年根据啮齿动物低剂量暴露试验结果, 得出相似的结论^[5]。EFSA 于 2008 年 7 月发布的再评估报告认为, 在目前暴露水平下,

不会对人体包括婴幼儿产生危害, 维持现行管理政策。此外, 2007 年日本科学委员会发布的评估报告也认为, 在目前的暴露水平下, BPA 对该国消费者不会产生任何不可接受的危害^[6]。各国的评估结果详见表 4。

各国或机构的分歧主要在于: 1) 暴露途径, 出现不良效应的动物实验的染毒途径为注射染毒, 注射途径染毒受试物不经肝脏直接进入血液循环, 而人体经口的暴露途径要经过消化系统消化、肝脏代谢后进入血液循环。2) 种属代谢差异较大, 啮齿动物的排泄途径主要通过胆汁而人主要从尿液排出, 胆汁排泄会通过肠肝循环再吸收。3) 实验设计不合理, 一些动物实验特别是早期开展的一些毒理实验的设计不尽合理, 实验方法未经验证。4) 企业资助研究项目, 化学工业资助的一些研究项目, 低剂量暴露时未发现任何有害效应也受到质疑。

表 4 不同国家机构对 BPA 的风险评估

评估机构	毒性终点	NOAEL ^a [mg/(kg BW·d)]	婴幼儿最大 CEDI ^b [μg/(kg BW·d)]	婴幼儿 MOS ^c	评估结论
美国 FDA (2008)	全身	5.0	2.42	2066	没有风险
	生殖发育	50.0	2.42	20661	
美国 EPA (2002)		50.0			没有风险
日本科学委员会 (2007)	全身	5.0	0.18	27778	没有风险
	生殖发育	50	0.18	27778	
EFSA (2008)	生殖发育	50	0.01	5000	没有风险
	全身				
加拿大卫生部 (2008)	全身	5.0	4.30	1162	可能有风险

注: a 为未观察到有害作用水平 (No-observed-adverse-effect level, NOAEL); b 为累积的估计每日摄入量 (cumulated estimated daily intake, CEDI); c 为安全边界比 Margin of Safety (MOS) = NOAEL (animal) / EXP (human)。

3.4 双酚 A 的迁移限量

根据以上风险评估结果, 日本、欧盟以及欧洲标准委员会设定了双酚 A 的限量, 日本双酚 A (包括双酚 A、酚、对-叔丁基酚) 残留限量为 500 μg/g, 迁移限量 2.5 μg/ml (每平方厘米加浸泡液 2 ml), 相当于 3.0 mg/kg。欧盟 2002/72/EC 规定的双酚 A 的特定迁移量为 0.6 mg/kg, 欧洲标准委员会对婴幼儿奶瓶设定的迁移限量 (CEN) 为 0.03 mg/kg, 美国 FDA 未设定其残留或迁移限量。鉴于目前对 BPA 的健康风险尚无定论, 尚需要开展进一步研究, 且欧美日等发达国家官方评估结论认为其对人体不会造成危害, 标准送审稿经相关专家评审, 且目前争议的焦点不是双酚 A 限量问题, 而是是否禁止生产由双酚 A 为原料的 PC 奶瓶, 因此认为此次修订宜暂缓设定 BPA 的迁移限量。

4 结论

根据检测结果、风险评估资料, 参考美国 FDA、

日本和欧盟法规, 提出了我国聚碳酸酯食品容器卫生标准的修订意见, 即维持现行标准限量值不变, 但单位由“mg/L”换算为 mg/dm² (见表 2)。

参考文献

[1] DD CEN/TS 13130 - 13:2005. Materials and articles in contact with foodstuffs Plastics substances subject to limitation -Part 13: Determination of 2,2-bis(4-hydroxyphenyl) propane (Bisphenol A) in food simulants[Z].

[2] EWG. EWG's guide to infant formula and baby bottles: BPA in baby bottles, environment working group [Z/OL]. (2007). <http://www.ewg.org/node/25572>.

[3] FDA. Cumulative exposure estimated for bisphenol A (BPA), individually for adults and infants from its use in epoxy-based can coatings and polycarbonate (PC) articles branch, HFS-245. (letter to G. Diachenki, Ph. D., Division of Product Manufacture and Use, HGS-245.) [Z]. 1996.

[4] FCPSA. Migration of bisphenol A and plasticizers from plastic feeding utensils for babies[R]. Food and Consumer Product Safety Authority, Report no. ND05o410. 2005.

[5] SIMONEAU C, ROEDER G, ANKLAM E. Migration of bisphenol-A

调查研究

舟山市 2006 - 2008 年食源性致病菌污染状况分析

薛超波 王萍亚 孙 瑛

(国家海洋食品质量监督检验中心,浙江 舟山 316021)

摘 要:目的 了解舟山市市售食品中食源性致病菌污染状况及分布和高危食品种类。方法 参照国家食源性
疾病监测网工作手册进行。结果 检测生畜肉、生禽肉、非定型包装熟肉制品、动物性水产品、蔬菜、海水鱼、淡水
鱼、冷菜、鲜榨果汁等共 511 件,检出沙门氏菌 3 株,检出单核细胞增生李斯特菌 5 株,检出空肠弯曲菌 3 株,副溶血
性弧菌 68 株。结论 舟山市居民主要消费食品存在食源性致病菌污染,其中水产品 and 熟肉制品污染较重,应引起
有关部门重视,并加强监督、检查力度,加大对食品卫生安全的宣传教育工作。

关键词:大肠杆菌 O157;葡萄球菌,金黄色;沙门菌属;弧菌,副溶血性;利斯特菌,单核细胞增生;食品;食源性致
病菌;污染

Analysis of Main Food Borne Pathogen Pollution in Zhoushan from 2006 to 2008

XUE Chao-bo , WANG Ping-ya , SUN Ying

(Zhoushan Center of Calibration and Testing for Qualitative Technical Supervision ,
Zhejiang Zhoushan 316021 , China)

Abstract : Objective To investigate the occurrence of food-borne pathogens , their distribution in retailed foods and the

from baby bottles: effect of experimental conditions and European survey [C]. 2nd International Symposium on Food Packaging: Ensuring the Safety and Quality of Foods (ILSI conference). Vienna , Austria. 2000.

[6] CSL. A study of the migration of bisphenol A from polycarbonate feeding bottles into food simulants [R]. Central Science Laboratory Test Report , L6BB-1008. 2004.

[7] D 'ANTUONO A, DALL 'ORTO VC, LO BALBO A, et al. Determination of bisphenol A in food-simulating liquids using LCED with a chemically modified electrode [J]. J Agric Food Chem, 2001 , 4: 1098-2101.

[8] Environment California , GIBSON R. Toxic baby bottles ——Scientific study finds leaching chemicals in clear plastic baby bottles [Z/OL]. (2007) . [http ://www. environmentcalifornia. org/environmental-health/ stop-toxic-toy. . .](http://www.environmentcalifornia.org/environmental-health/stop-toxic-toy...)

[9] SUN Y, AI-DIRBASHI O, Kuroda N, et al. High-performance liquid chromatography with peroxyoxalate chemiluminescence detection of bisphenol A migrated from polycarbonate baby bottles using 4-(4,5-diphenyl-1H-imidazol-2-yl) benzoyl chloride as a label [J]. J Chromatogr B Biomed Sci Appl, 2000, 749 :49-56.

[10] MIYAMOTO K, KOTAKE M. Estimation of daily bisphenol A intake of Japanese individuals with emphasis on uncertainty and variability [J]. Environ Sci , 2006, 13(1) :15-29.

[11] BREDE C, EILDAL P, SKJEVRAK I, et al. Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing , boiling and brushing [J]. Food Addit Contam , 2003 , 20 (7) : 684-689.

[12] National Toxicology Program. Ntp-cerhr monograph on the potential human reproductive and developmental effects of bisphenol A [Z]. NIH publication No. 08-5994 , 2008 :1-321.

[13] Environment Canada & Health Canada. Risk management scope for bisphenol A [Z/OL]. (2008) . [http ://www. ec. gc. ca/substances/ese/ eng/challenge/batch2/batch2-80-05-7_rms\) en. pdf](http://www.ec.gc.ca/substances/ese/eng/challenge/batch2/batch2-80-05-7_rms/en.pdf).

[14] FDA. FDA statement on release of bisphenol a (bpa) subcommittee report [R/OL]. (2008-8-14) . [http ://www. fda. gov/ohrms/dockets/ac/ 08/briefing/2008-0038b1_ 01_ 02_ FDA % 20BPA % 20Draft % 20Assessment. pdf](http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/08/briefing/2008-0038b1_01_02_FDA%20BPA%20Draft%20Assessment.pdf).

[15] FDA. FDA science board subcommittee on food contact applications of bpa , scientific peer-review of the draft assessment of bisphenol a for use in food contact applications [Z/OL]. [http ://www. fda. gov/ohrms/ dockets/ac/08/briefing/2008-4386b1-05. pdf](http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/08/briefing/2008-4386b1-05.pdf).

[16] European Food Safety Authority (ESFA). Updated European Risk Assessment Report 4 , 4 'isopropylidenediphenol (bisphenol-A) , Environment Addendum of February 2008 [R/OL]. (2008) . [http :// ecb. jrc. it/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK-ASSESSMENT/ ADDENDUM/bisphenola . add_ 325. pdf](http://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK-ASSESSMENT/ADDENDUM/bisphenola_add_325.pdf).

[17] KAWAMURA Y, KOYAMA Y, TAKEDA Y, et al. Migration of bisphenol A from polycarbonate products. Journal of Food Hygienic Society of Japan , 1998 , 99 :206-212.

[收稿日期 :2009 - 06 - 11]

中图分类号 :R15 ;O625. 31 ;TQ342. 24 文献标识码 :C 文章编号 :1004 - 8456(2009)06 - 0529 - 05

基金项目 :浙江省自然科学基金项目 (Y307381)

作者简介 :薛超波 男 工程师